

تأثیر شوری‌های مختلف آب زیرزمینی در صعود نمک در پروفیل خاک و تبخیر از سطح آن

مهدی ذاکری نیا^{۱*}، بهمن فکوری دکاهی^۲ و سیده سهیلا ابراهیمی^۳

^{۱*}- نویسنده مسئول، استادیار و هیات علمی گروه مهندسی آب دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان (a_zakerinia@yahoo.com)

^۲- دانش‌آموخته گروه مهندسی آب دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

^۳- استادیار و هیات علمی گروه خاک‌شناسی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

تاریخ پذیرش: ۹۳/۱۲/۲۷

تاریخ دریافت: ۹۳/۹/۲۶

چکیده

یکی از راه‌کارهای مقابله با کمبود منابع آب آبیاری استفاده از سطوح ایستابی کم عمق آب زیرزمینی برای آبیاری گیاه به خصوص در مناطق با آب زیرزمینی نزدیک به سطح زمین می‌باشد. اما بالا آمدن نمک به منطقه ریشه در اثر جریان موینگی، یک عامل محدودکننده برای استفاده از آب زیرزمینی کم‌عمق به منظور آبیاری گیاه محسوب می‌گردد. از این رو آگاهی از رفتار خاک در حضور سطوح مختلف ایستابی با غلظت‌های مختلف برای برنامه ریزی آبیاری زیرزمینی بسیار حائز اهمیت است. در این پژوهش، که در دانشگاه علوم کشاورزی گرگان با اقلیم نیمه مرطوب صورت گرفته است، آزمایشی در قالب طرح فاکتوریل به صورت کامل تصادفی با چهار تیمار آب زیرزمینی شامل آب شاهد (تهیه شده از آب شرب شهر گرگان) با هدایت الکتریکی ۰/۶ دسی زیمنس بر متر؛ آب زیرزمینی با هدایت الکتریکی ۷/۵؛ ۱۲/۵ و ۱۷/۵ دسی زیمنس بر متر (تهیه شده از اختلاط آب شاهد با آب دریای خزر) و دو تیمار عمق ایستابی ۷۰ و ۱۰۰ سانتی‌متر در سه تکرار و در مجموع در ۲۴ لایسیمتر به ارتفاع ۱۵۰ و قطر ۱۵ سانتی‌متر حاوی یک خاک لوم رسی سیلنتی انجام گردید. آب زیرزمینی از طریق مخازن آب مدرج که به لوله‌های متخلخل نصب شده در لایسمترها متصل بودند اعمال و به کمک یک شناور، سطح ایستابی در هر لایسیمتر تثبیت گردید. تبخیر از سطح خاک از طریق تغییر ارتفاع آب در مخازن در طول دوره آزمایش به صورت روزانه اندازه‌گیری شد. پس از یک دوره سه ماهه، هدایت الکتریکی عصاره اشباع نمونه‌های چهار عمق ۵، ۳۰، ۶۰ و ۹۰ سانتی‌متری از پروفیل خاک اندازه‌گیری و مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفت. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اختلاف نمک صعود کرده به پروفیل خاک در سطح احتمال یک درصد بین تیمارهای مختلف معنی‌دار بوده است. در تیمار آب شاهد، آهنگ تجمع نمک در سطح خاک شدیدتر، ولی در تیمارهای با شوری بالاتر، تجمع نمک در عمق‌های نزدیک به سطح ایستابی بیشتر بوده است. همچنین اختلاف مقادیر نمک صعود کرده به پروفیل خاک در سطح احتمال یک درصد در بین تیمارهای عمق ایستابی ۷۰ و ۱۰۰ سانتی‌متری معنی‌دار بود و در همه تیمارهای مربوط به عمق ایستابی ۷۰ سانتی‌متری نمک بیشتری نسبت به عمق ایستابی ۱۰۰ سانتی‌متری صعود کرده بود. بررسی نتایج تبخیر نیز حاکی از آن بود که بیشترین تبخیر در تیمار شوری ۱۷/۵ دسی زیمنس بر متر روی داد، اما به طور کلی اختلاف میزان تبخیر از دو سطح ایستابی ۷۰ و ۱۰۰ سانتی‌متر بین تیمارهای مختلف در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار نبود.

کلید واژه‌ها: آهنگ تجمع نمک، پروفیل خاک، جریان موینگی، سطح ایستابی، عصاره اشباع.

Influence of Different Salinities of Groundwater on Salt Rising and Evaporation of the Soil Surface

M. Zakerinia^{1*}, B. Fakouri Dekahi² and S. Ebrahimi³

^{1*}-Assistant Professor of Water Engineering Department, Gorgan Agriculture Science and Natural Resources University

²-Graduated Student of Water Engineering Department, Gorgan Agriculture Science and Natural Resources University

³- Assistant Professor of Soil Science Department, Gorgan Agriculture Science and Natural Resources University

Received: 17 December 2014

Accepted: 18 March 2015

Abstract

Shallow groundwater with different quality could be replaced of irrigation water for crop as a cheap water resource in some semi-arid region of world. But salt rising to the root zone due to

ذاکری نیا و همکاران: تاثیر شوری‌های مختلف آب زیرزمینی در صعود...

capillary flow from shallow groundwater is a limiting factor for underground irrigation method. In this study, an experiment in a completely randomized factorial design was conducted with four water treatments include of common water (Gorgan city drink water with 0.6 dS/m of electrical conductivity), 7.5, 12.5 and 17.5 dS/m that were prepared with mixing common water and Caspian Sea water. Two water table treatments also considered include 70 and 100 cm depths. All treatments had 3 replications. Totally 24 lysimeters with 150 cm height and 15 cm diameter were filled with silt clay loam in Gorgan agriculture science and natural resources university. Ground water injected from some scaled water reservoirs through porous pipes into the soil and water table was created by a floater at stable depth beside of each lysimeter. Soil surface evaporation was measured daily by monitoring the water level changing in each lysimeter reservoir. After a three-month, the water content and electrical conductivity of the saturation extracted samples in four depths including 5, 30, 60 and 90 cm of each soil column were measured. The results of showed that at 1% probability, the rising salt mass in different treatments was significant. In the control treatment, salt accumulation intensity to the soil surface was more than other treatments compare with its groundwater concentration. Comparison of salt rising to the soil surface of treatments for two water tables (70 and 100 cm), showed that the salt rising differences between this two treatments was significant at 1 % probability, and accumulation of salts in the soil profile at 70 centimeters was more than its value at 100 cm water table in all groundwater salinity treatments. Evaporation results showed that the highest evaporation was occurred in 17.5 dS/m salinity treatment. Also as a whole, differences between the evaporation rates of 70 and 100 cm water levels were not significant at 1% probability.

KeyWords: Salt accumulation rate, Soil profile, Capillary flow, Water table, saturated extraction.

مقدمه

املاح به سطح خاک توسط جریان موینگی می‌باشد. املاح خاک از نظر شوری، حاصلخیزی و آلودگی آب‌های زیرزمینی دارای اهمیت خاص است (دراگوز و همکاران^۱، ۲۰۰۰). می‌توان از بالا بودن سطح سفره آب زیرزمینی برای جبران قسمتی از نیازهای آبی گیاه استفاده نمود. اگر گیاه مجبور به جذب مقداری از نیاز آبی خود از آب زیرزمینی گردد، مقدار عمق آبیاری مورد نیاز آن کاهش می‌یابد (گوپتا و همکاران^۲، ۱۹۹۳). وجود منابع آب زیرزمینی کم‌عمق که اغلب با مسائل شوری و ماندابی مواجه هستند، در بسیاری از مناطق خشک و نیمه خشک جهان به چشم می‌خورد (ایارز و همکاران^۳، ۲۰۰۹). مادراموتو و همکاران^۴ (۱۹۹۲) نشان دادند که سطح ایستابی کم عمق، تأثیر کاملاً مشخصی در افزایش تجمع نمک در سطح خاک دارد. مصطفی زاده فرد و والندر (۲۰۰۶) با شبیه سازی شرایط مزرعه، اثر حضور و عدم حضور آب زیرزمینی کم عمق در بیلان آب و نمک ناحیه ریشه را بررسی نموده و نشان دادند که مشارکت آب زیرزمینی تأثیر معنی‌دار بر شوری خاک داشت. علاوه بر این رابطه‌ی بین عمق سطح ایستابی و تبخیر از سطح خاک نیز از اهمیت زیادی برخوردار است. رحیمیان و همکاران (۱۳۸۶) نشان

یکی از روش‌های مدیریت آبیاری، کنترل سطح ایستابی در زیر عمق توسعه‌ی ریشه است که به روش آبیاری زیرزمینی موسوم است. در این روش سطح آب زیر زمینی را در عمق معینی از ریشه تثبیت نموده تا آب از طریق جریان موینگی در خاک صعود کرده و به ریشه گیاه برسد. در آبیاری زیرزمینی در واقع، جریان ورود و خروج آب در زمین معکوس می‌شود، به این مفهوم که آبیاری از طریق ثابت نگه داشتن سطح ایستابی آب زیرزمینی از طریق لوله زهکش وارد زمین می‌شود و با ایجاد یک سطح ایستابی کم عمق، آب با جریان موینگی در اختیار گیاه قرار می‌گیرد. این روش آبیاری به دلیل حضور سطح ایستابی در نزدیک سطح زمین مناسب بوده و دارای مزایای زیادی از جمله کاهش زه‌آب‌های خروجی، کاهش تلفات کودهای شیمیایی، کاهش آلودگی محیط زیست، افزایش تبخیر و تعرق و افزایش محصول است. یکی از مشکلات این نوع مدیریت آبیاری، صعود و تجمع نمک در پروفیل و سطح خاک است؛ در صورتی که این روش آبیاری در حضور سطح ایستابی با شوری نسبتاً زیاد به ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک اعمال شود به علت تبخیر شدید، نمک نیز به همراه آب موینگی به سطح خاک منتقل شده و باعث افزایش شوری خاک در ناحیه ریشه می‌شود. در این صورت بایستی در این مناطق آبیاری زیرزمینی با مدیریت خاص صورت گیرد. منبع اصلی املاح در خاک، مواد معدنی اولیه در پوسته زمین، آبیاری با آب‌های شور، آب‌های زیرزمینی شور و حرکت

1- Droogers *et al.*

2- Gupta *et al.*

3- Ayars *et al.*

4- Madramootoo *et al.*

همکاران (۲۰۱۱) نشان دادند که سرعت تبخیر از سطح خاک در سه عمق ۳۰۰، ۵۰۰ و ۸۰۰ میلی‌متر از سطح خاک به ترتیب ۳/۱۷، ۱/۴۲ و ۰/۲ میلی‌متر بر روز بود یعنی سرعت تبخیر از سطح خاک با افزایش عمق آب زیر زمینی کاهش می‌یابد.

مطالعه تحقیقات گذشته نشان داد که عمق سطح ایستابی یک فاکتور مهم در صعود مویبندی به سطح خاک (تبخیر از سطح خاک) و در نتیجه صعود نمک به منطقه ریشه گیاه می‌باشد. اما در خصوص اثر غلظت‌های مختلف آب زیرزمینی بر میزان صعود مویبندی، میزان تبخیر و میزان تجمع نمک در پروفیل و سطح خاک نیاز به تحقیقات بیشتری بود. از این رو هدف از پژوهش حاضر، بررسی اثر شوری‌های مختلف آب زیرزمینی تثبیت شده در دو سطوح ایستابی مختلف بر میزان تبخیر از سطح خاک و متعاقب آن میزان صعود نمک به پروفیل خاک می‌باشد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در گروه مهندسی آب دانشگاه علوم کشاورزی گرگان با اقلیم نیمه مرطوب صورت گرفته است، آزمایشی در قالب طرح فاکتوریل به صورت کامل تصادفی شامل چهار تیمار آب زیرزمینی به ترتیب با هدایت الکتریکی ۰/۶ دسی‌زیمنس بر متر به عنوان شاهد که از آب شرب شهر گرگان تهیه شده بود (تیمار A)؛ ۷/۵ دسی‌زیمنس بر متر (تیمار B)؛ ۱۲/۵ دسی‌زیمنس بر متر (تیمار C)؛ ۱۷/۵ دسی‌زیمنس بر متر (تیمار D)؛ (که تیمارهای B، C و D از اختلاط آب شرب با آب دریای خزر تهیه شد) و دو تیمار عمق ایستابی ۷۰ و ۱۰۰ سانتی‌متر در سه تکرار و در مجموع در ۲۴ لایسمتر به ارتفاع ۱۵۰ و قطر ۱۵ سانتی‌متر حاوی یک خاک لوم رسی سیلتی انجام گردید. به منظور جلوگیری از ورود ذرات خاک و گرفتگی لوله‌های تغذیه و پیژومترهای به کار رفته در این تحقیق با فیلتر توری پوشانده و از یک طرف بدنه لایسمتر وارد شده و داخل خاک قرار گرفتند. اطراف آن به منظور تسهیل در ورود جریان آب به خاک با یک لایه پنج سانتی‌متری از شن درشت پوشانده شد (شکل ۱). در نهایت لایسمترها از خاک عبور داده شده از الک دو میلی‌متر تا ارتفاع ۱۳۰ سانتی‌متری در لایه‌های ۱۵ سانتی‌متری به صورت دستی (جرم مخصوص ظاهری حدود ۱/۳۷ گرم بر سانتی‌متر مکعب) پرگردیدند. نتایج تجزیه خاک و آب به کار رفته به ترتیب در جدول (۱) و (۲) ارائه شده است.

دادند شوری پروفیل خاک تا حد زیادی وابسته به شوری آب زیرزمینی بوده ($R^2 = 0.70$) و این وابستگی با افزایش عمق خاک از سطح زمین، افزایش یافت. لوو^۱ و سوفوکلئوس^۲ (۲۰۱۰) در یک آزمایش لایسمتری، میزان مشارکت فصلی آب زیرزمینی در تأمین آب مورد نیاز گیاه گندم، با استفاده از داده‌های اندازه‌گیری شده و با مدل هایدروس را مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد متوسط درصد مشارکت آب زیرزمینی تابعی از مقدار آب ورودی به خاک و عمق آب زیرزمینی بود که گاهی در شرایط عمق سطح ایستابی یک متر، این مقدار به ۷۵ درصد می‌رسید. با توجه به مطالعات صورت گرفته در زمینه استفاده از آب زیرزمینی به منظور رفع قسمتی از نیاز گیاه و تأثیر شوری آب زیرزمینی در صعود و تجمع نمک در پروفیل خاک لازم دیده شد تا تحقیقات گسترده‌تری در این زمینه صورت گیرد.

در مناطق خشک و نیمه خشک با سطح آب زیرزمینی کم عمق، مقدار قابل توجهی آب از این منبع از طریق صعود مویبندی در سطح خاک تبخیر و نمک‌های خود را در خاک باقی گذاشته و به تدریج سبب شور شدن آن می‌گردد (هیلل^۳، ۱۹۹۸؛ کونکو و همکاران^۴، ۲۰۰۴؛ زارعی و همکاران، ۲۰۱۰). بنابراین تبخیر از سطح خاک نه تنها سبب اتلاف آب می‌شود، بلکه موجب شور شدن خاک نیز می‌گردد (گاردنر^۵، ۱۹۵۸؛ رز و همکاران^۶، ۲۰۰۵ و گوینگ و همکاران^۷، ۲۰۰۶). تبخیر از خاک لخت باعث انتقال املاح به سمت بالا و افزایش شوری در پروفیل خاک می‌شود، در حالی که میزان تبخیر با خشک شدن سطح خاک کاهش می‌یابد و هنگامی که تقاضای تبخیر اتمسفر بیشتر از توانایی خاک را برای ایجاد جریان مویبندی می‌شود خشک شدن سطح خاک و پایین رفتن جبهه رطوبتی آغاز می‌شود، بنابراین وجود سطح ایستابی کم عمق تأثیر زیادی در میزان تبخیر از سطح ایفا می‌کند (اسمیل نیا و همکاران، ۱۳۸۳). رابطه بین عمق سطح ایستابی و تبخیر از سطح خاک در اغلب مناطق خشک و نیمه خشک بسیار مهم است. در این مناطق به علت آبیاری بیش از حد نیاز، اغلب سطح ایستابی نزدیک زمین است که باعث شوری خاک می‌شود. امیدی و قهرمان (۱۳۸۷) با اندازه‌گیری تبخیر از سطح آزاد نتیجه گرفتند که به طور متوسط میزان تبخیر با افزایش شوری کاهش می‌یابد با این وجود تغییرپذیری این مقادیر با ضریب تغییرات ۰/۲۹ - ۰/۳۳ تقریباً به میزان شوری وابسته نمی‌باشد. رز و همکاران (۲۰۰۵) بیان کردند که سرعت تبخیر تابعی از عمق سطح ایستابی و توانایی تبخیر است. جلیلی و

- 1- Luo
- 2- Sophocleous
- 3- Hillel
- 4- Konukcu *et al.*
- 5- Gardner
- 6- Rose *et al.*
- 7- Gowing *et al.*

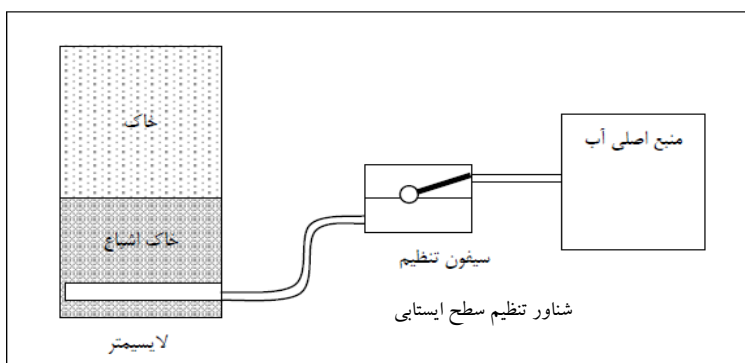
ذاکری نیا و همکاران: تاثیر شوری های مختلف آب زیرزمینی در صعود...

جدول ۱ - نتایج تحلیل خاک مورد استفاده در آزمایش

بافت	شن(درصد)	سیلت (درصد)	رس(درصد)	هدایت الکتریکی خاک (دسی زیمنس بر متر)
خاک	۱۰/۵	۵۹/۵	۳۰	۱/۱

جدول ۲ - نتایج تحلیل آب شاهد و آب دریای خزر

تیمار آبی	نسبت جذب سدیم	یون کلرید (میلی اکی والان بر لیتر)	یون سدیم (میلی اکی والان بر لیتر)	یون پتاسیم (میلی اکی والان بر لیتر)	یون کلسیم (میلی اکی والان بر لیتر)	یون منیزیم (میلی اکی والان بر لیتر)	یون سولفات (میلی اکی والان بر لیتر)	یون هدایت الکتریکی (دسی زیمنس بر متر)	اسیدیت
شاهد	۰/۱۴	۱	۰/۲۷	۰/۴۸	۴/۴	۲/۸	۰/۷	۰/۶	۷
دریای خزر	۳۶	۲۲۱	۲۳۷/۹	۸/۲۱	۲۵/۲	۶۱/۷۱	۲۴/۵	۱۷/۵	۸



شکل ۱- نمایی از نحوه آبیاری زیرزمینی و تثبیت سطح ایستایی به کمک شناور

شد. مقایسه آماری و تحلیل داده‌ها با نرم افزار SAS انجام و نمودارهای مربوطه نیز در محیط اکسل رسم و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

نتایج و بحث

جدول تحلیل واریانس میزان نمک صعود کرده در پروفیل لایسیمترهای مختلف بر اساس شوری نمونه‌های اندازه‌گیری شده از اعماق ۵، ۳۰، ۶۰ و ۹۰ سانتی‌متری خاک در جدول (۳) ارائه شده است. نتایج نشان داد که بین تیمارهای هر دو فاکتور اصلی (اثر سطح ایستایی و شوری آب زیرزمینی) در سطح احتمال یک درصد اختلاف معنی دار وجود دارد که با نتایج مصطفی زاده فرد و والندر^۱ (۲۰۰۶) که با شبیه سازی شرایط مزرعه، اثر حضور و عدم حضور آب زیرزمینی کم عمق در نمک صعود کرده به ناحیه ریشه را بررسی کرده و نتیجه گرفتند که مشارکت آب زیرزمینی تأثیر معنی دار بر شوری پروفیل خاک دارد، هم خوانی دارد. اثر متقابل فاکتور شوری و سطح ایستایی در سطح احتمال یک درصد

به منظور تأمین آب مصرفی لایسیمترها از یک مخزن مدرج با حجم دو لیتر به عنوان منبع اصلی آب آبیاری، در نظر گرفته شد که هر بار با کاهش سطح آب مخزن به آن آب اضافه می‌شد. آب از طریق مجرای شناور وارد مخزن دوم که در آن سطح ایستایی در ارتفاع معادل تیمار سطح ایستایی لایسیمتر تنظیم شده بود، وارد می‌شد. سپس از طریق لوله تغذیه که به قسمت تحتانی هر لایسیمتر متصل بود، وارد می‌شد (شکل ۱). همچنین به منظور کنترل سطح ایستایی روی همه لایسیمترها پیژومتر نصب گردید. مقدار آب مصرف شده در هر لایسیمتر از خط کش نصب شده روی مخازن تأمین کننده آب زیرزمینی اندازه گیری شده و تغییرات سطح آب در این مخزن که در واقع نشان دهنده میزان تبخیر از سطح خاک بود، روزانه به مدت سه ماه در تابستان ۱۳۹۲ ثبت شد. در این آزمایش هیچ گونه آبی از سطح خاک اعمال نشده و تمامی آب تبخیر شده از سطح خاک از طریق جریان سطح ایستایی کم عمق زیرزمینی و با استفاده از خاصیت صعود موینیگی صورت گرفته است.

در انتهای دوره آزمایش، نمونه‌های خاک از عمق‌های ۵، ۳۰، ۶۰ و ۹۰ سانتی‌متری از تمامی لایسیمترها برداشت شد و مقادیر رطوبت و هدایت الکتریکی عصاره اشباع آن اندازه‌گیری

اختلاف معنی دار نشد. به عبارت دیگر دو فاکتور مورد مطالعه در صعود شوری به پروفیل خاک مستقل از همدیگر اثر می‌نمایند.

جدول ۳- جدول مقایسه آماری میانگین مربعات شوری نمونه‌های گرفته شده از اعماق ۵، ۳۰ و ۶۰ سانتی متری پروفیل خاک

منابع تغییر	درجه آزادی	عمق ۵ (سانتی متری)	عمق ۳۰ (سانتی متری)	عمق ۶۰ (سانتی متری)
سطح ایستابی	۱	۳۲/۳۴**	۴۴/۲۰**	۱۰۲/۸۰**
شوری	۳	۲۵/۶۸**	۴۵/۶۵**	۸۱/۴۸**
سطح ایستابی* شوری	۳	۲/۰۴ ns	۱/۰۳ ns	۰/۷۴ ns
خطا	۱۶	۰/۵۶	۰/۱۴	۰/۲۱
کل	۲۳	-	-	-

**معنی دار در سطح یک درصد و ns معنی دار نیست.

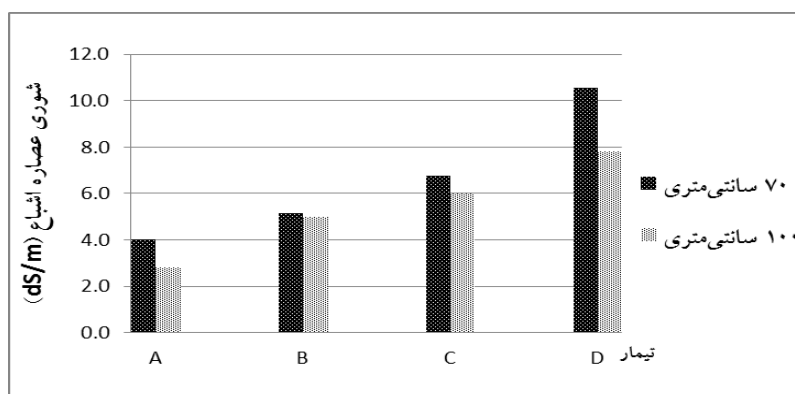
با توجه به تحلیل آماری و مقایسه نمک صعود کرده بین دو سطح ایستابی ۷۰ و ۱۰۰ سانتی متری (شکل ۲) مشاهده می‌شود که میزان صعود و تجمع نمک به سطح خاک در سطح ایستابی ۷۰ سانتی متری در همه تیمارها بیشتر است؛ یعنی هرچه سطح ایستابی به سطح خاک نزدیک‌تر باشد صعود و تجمع نمک بیشتر خواهد بود. در تحقیقی که جلیلی و همکاران (۲۰۱۱) با انجام آزمایشی در خاک لوم رسی، با برقراری سه سطح ایستابی شور در ۳۰۰، ۵۰۰ و ۸۰۰ میلی متری از سطح خاک نشان دادند که اساساً نمک‌ها در سطح خاک تجمع می‌یابند و میزان تبخیر از سطح خاک در سطح ایستابی ۳۰۰ میلی متر از دیگر لایسیمترها بزرگ‌تر بود. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت هرچه سطح ایستابی آب زیرزمینی بالاتر و سطح خاک نزدیک‌تر باشد به علت شکل‌گیری جریان موینگی آب شور سریع‌تر به سطح خاک رسیده و با تبخیر آب، نمک‌ها در سطح خاک باقی مانده و باعث افزایش شوری سطح خاک می‌شوند.

بعد از مشخص شدن وجود اختلاف بین تیمارهای دو فاکتور اصلی، مقایسه میانگین‌های شوری نمونه‌های سطح خاک (عمق ۵ سانتی متری) با آزمون حداقل تفاوت معنی دار (LSD) نیز در جدول (۴) ارائه شد. نتایج نشان داد که در سطح احتمال یک درصد مقدار اختلاف نمک صعود یافته به سطح خاک (عمق ۵ سانتی متری) برای سطح ایستابی ۷۰ سانتی متری بین تیمارهای مختلف شوری به جز تیمار D معنی دار نشد. به عبارت دیگر سه تیمار A، B و C در صعود و تجمع نمک به سطح خاک مشابه همدیگر عمل کرده‌اند؛ اختلاف تیمار D با بقیه را می‌توان ناشی از غلظت بالای شوری این تیمار دانست. در سطح ایستابی ۱۰۰ سانتی متری بین تیمار B و C اختلاف معنی دار بین آن‌ها در سطح احتمال یک درصد نبود. این دو تیمار به دلیل شوری نزدیک به هم (تیمار B با هدایت الکتریکی ۷/۵ دسی زیمنس بر متر و تیمار C با هدایت الکتریکی ۱۲/۵ دسی زیمنس بر متر)، اختلاف معنی دار مشاهده نشد و در صعود نمک به سطح خاک وضعیت مشابه‌ای دارند.

جدول ۴- مقایسه میانگین سطوح ایستابی و تیمار شوری در سطح خاک

سطح ایستابی (سانتی متر)	A	B	C	D
۷۰	a ۴/۲۲	a ۵/۱۲	a ۶/۷۷	b ۱۰/۵۵
۱۰۰	c ۲/۸۰	b ۵/۵۸	b ۵/۹۹	a ۷/۸۳

میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند فاقد اختلاف معنی دار در سطح پنج درصد می‌باشند.

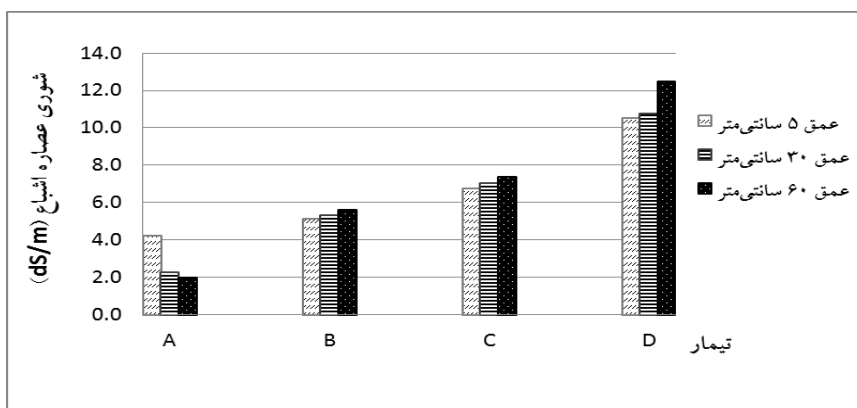


ذاکری نیا و همکاران: تاثیر شوری‌های مختلف آب زیرزمینی در صعود...

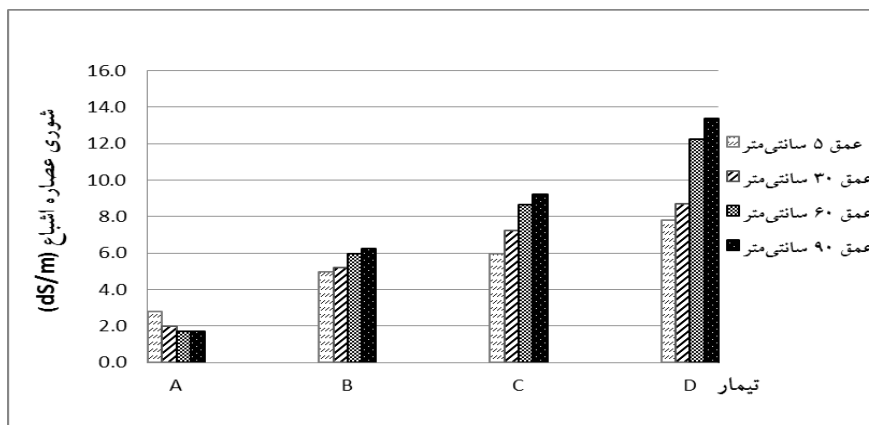
شکل ۲- نمودار مقایسه وضعیت تجمع نمک از سطح خاک تیمارها در دو سطح ایستایی ۷۰ و ۱۰۰ سانتی‌متری

مرطوب باشد و آب در فاز مایع تا سطح خاک جریان داشته باشد، نمک‌ها نیز به تبع آن به سطح خواهند آمد (رز و همکاران، ۲۰۰۵). البته در مجموع در تیمارهای مذکور هرچه غلظت آب زیرزمینی بیشتر بوده، شوری بیشتری نیز به سطح خاک منتقل شده است. به طور مثال در تیمارهای مذکور در عمق ۶۰ سانتی‌متر، میزان شوری عصاره اشباع تیمار D، C و B به ترتیب ۱۲/۵، ۷/۵ و ۵/۵ دسی زیمنس بر متر اندازه‌گیری شد. این در حالی است که میزان شوری عصاره اشباع سه تیمار مذکور در عمق ۳۰ سانتی‌متر به ترتیب ۱۰/۵، ۷ و ۵/۱ دسی زیمنس بر متر و در عمق پنج سانتی‌متر به ترتیب برابر ۱۰/۲، ۶/۵ و ۴/۹ دسی زیمنس بر متر بوده است. همچنین در تیمار شاهد (A) روند شوری در عمق‌های مذکور معکوس بوده و با افزایش فاصله از سطح ایستایی شوری بیشتری مشاهده شده است، یعنی شوری لایه‌ی سطحی خاک (عمق ۵ سانتی‌متری) از لایه‌های زیرین نزدیک سطح ایستایی بیشتر شده است. این پدیده در هر دو عمق ایستایی ۷۰ و ۱۰۰ سانتی‌متری (شکل‌های ۳ و ۴) مشاهده شده است. علت این پدیده، غلظت کم نمک در آب زیرزمینی تیمار A و تغلیظ آن در سطح خاک به دلیل تبخیر از سطح آن می‌باشد.

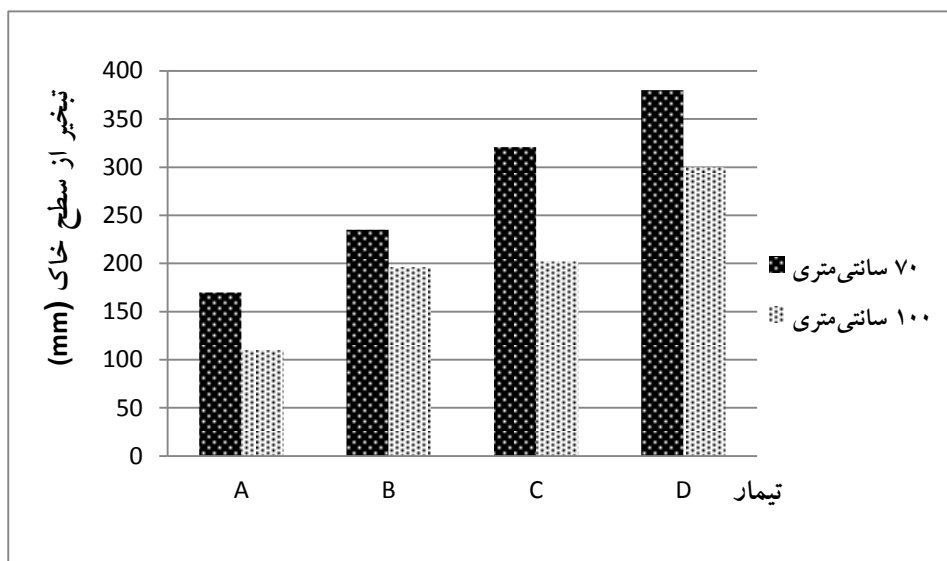
نتایج به‌دست آمده از وضعیت شوری خاک بر اساس عصاره اشباع در تیمارها و عمق‌های مختلف از پروفیل خاک در سطح ایستایی ۷۰ و ۱۰۰ سانتی‌متری از سطح خاک به ترتیب در شکل‌های (۳) و (۴) نمایش داده شده است. با توجه به شکل (۳) می‌توان نتیجه گرفت که در سه تیمار B، C و D (با توجه به به جدول (۴) بین شوری تیمارها در سطح خاک اختلاف معنی‌دار نبود) میزان شوری مشاهده شده به ترتیب از عمق‌های ۶۰، ۳۰ و ۵ سانتی‌متر از سطح خاک، در حال کاهش است. به عبارت دیگر بعد از سه ماه از شروع آزمایش، با فاصله گرفتن از سطح ایستایی و با حرکت رو به سطح خاک میزان نمک مشاهده شده در پروفیل خاک کاهش یافته است؛ یعنی هرچه از سطح خاک به عمق ایستایی نزدیک می‌شویم شوری پروفیل خاک افزایش می‌یابد. رحیمیان و همکاران (۱۳۸۶) در مطالعه شوری پروفیل خاک بیان کردند که با افزایش عمق خاک از سطح زمین، شوری خاک افزایش می‌یابد. در زیر سطح هر خاک یک جبهه نمک وجود دارد که در آن جبهه فاز مایع که منتقل‌کننده نمک به سمت بالا است، به فاز بخار تبدیل شده و در حقیقت در همان نقطه که به جبهه نمک موسوم است، نمک‌ها رسوب می‌نمایند و کمتر در پروفیل خاک جابجا می‌شود و اگر سطح خاک به دلیل رطوبت زیاد



شکل ۳- نمودار توزیع نمک در تیمارهای مختلف در سطح ایستایی ۷۰ سانتی‌متری



شکل ۴- نمودار توزیع نمک در تیمار های مختلف در سطح ایستابی ۱۰۰ سانتی متری



شکل ۵- نمودار مقایسه وضعیت تبخیر از سطح خاک تیمار های مختلف در دو سطح ایستابی ۷۰ و ۱۰۰ سانتی متری

با غلظت بالا فرآیند تبدیل آب از فاز مایع به بخار به دلیل غلظت بالای آب، کمتر صورت می گیرد در نتیجه آب مویبندی با هدایت هیدرولیکی بالا به سطح خاک صعود کرده و مقدار تجمعی تبخیر در سطح خاک بیشتر می شود (جلیلی و همکاران، ۲۰۱۱). در حالی که در تحقیق بارگاهی و موسوی (۱۳۸۵)، که اثر سطح ایستابی کم عمق و شوری آب زیرزمینی را بر تبخیر تفرق گلرنگ در گلخانه بررسی کرده بودند، اذعان شده است که شوری آب زیرزمینی باعث کاهش تبخیر از سطح خاک شده است. این تفاوت احتمالاً به خاطر آن است که آزمایش ایشان در محیط گلخانه و در حضور گیاه انجام شده است.

نتایج تحلیل آماری نشان داد (جدول ۵)، میزان تبخیر از سطح خاک در دو سطح ایستابی ۷۰ و ۱۰۰ سانتی متری مشابه بوده و اختلافی معنی دار در سطح احتمال یک درصد ندارند، با توجه به بافت خاک که تقریباً بافت سنگینی می باشد در هر دو عمق جریان مویبندی به سطح برقرار شده و تفاوت بین دو سطح ایستابی اختلاف معنی دار بین تبخیر این دو سطح ایجاد نکرده است. در این آزمایش اثر دو سطح ایستابی بر میزان تبخیر بدون گیاه از سطح مشابه یکدیگر عمل کرده و تفاوتی در میزان تبخیر از سطح ایجاد نمی کنند. این در حالی است که قمرنیا و همکاران (۱۳۹۱) در دو سال انجام آزمایشی مشابه، مشاهده کردند که بیشترین مصرف آب زیرزمینی مربوط به عمق ۶۰ سانتی متر و کمترین مقدار مصرف مربوط به عمق ۱۱۰ سانتی متر بود.

مقایسه آب تبخیر شده از سطح خاک تیمارهای مختلف که از طریق تفاضل کل آب وارد شده به لایسمتر و رطوبت موجود در لایه های خاک برآورد شد (شکل ۵)، نشان می دهد که میزان تبخیر از سطح خاک در تیمار D در هر دو سطح ایستابی ۷۰ و ۱۰۰ سانتی متری از بقیه بیشتر بوده است. به نظر می رسد شوری لایه سطحی تیمار A (در مقایسه با شوری سطح ایستابی) در مقایسه با بقیه تیمارها بیشتر بود. لیکن در تیمار D، به دلیل شوری بالایی که در عمق وجود دارد. شوری سطح خاک کمتر است، زیرا به دلیل اینکه در بافت خاک لوم رسی سیلتی به دلیل داشتن مقادیر ۳۰ درصد رس، میزان آب صعودی پیوسته آن در پروفیل خاک قابل توجه است. کمترین تبخیر مربوط به تیمار A می باشد؛ زیرا این تیمار نسبت به سایر تیمارها دارای غلظت نمک پایینی است، بنابراین میزان پتانسیل جذب آب در پروفیل خاک کاهش یافته در نتیجه میزان آب صعود کرده و به تبع آن تبخیر در این تیمار کاهش یافته است. دو تیمار B و C نیز این روند وجود داشته و به ترتیب میزان تبخیر متناسب با مقدار شوری آب زیرزمینی در حال افزایش است. این در حالی است که ریچارد^۱ و همکاران (۱۹۹۸) در آزمایشی مشابه نشان دادند غلظت بالای املاح در محلول خاک می تواند سرعت تبخیر را به دلیل تأثیر آن بر ویژگی های هیدرولیکی خاک تحت تأثیر قرار دهد. بنابراین در تیماری که غلظت آب زیرزمینی آن پایین است (A) مقداری از آب مویبندی قبل از رسیدن به سطح خاک از فاز مایع به بخار تبدیل شده در نتیجه هدایت هیدرولیکی در پروفیل خاک کاهش یافته و به تبع آن شدت تبخیر از سطح کاهش می یابد؛ ولی در تیمارهای

ذاکری نیا و همکاران: تاثیر شوری‌های مختلف آب زیرزمینی در صعود...

جدول ۵- جدول تجزیه واریانس تبخیر از سطح خاک

F	میانگین مربعات (واریانس)	مجموع مربعات	درجه آزادی	منابع تغییر
۱/۸۹ ^{ns}	۶۲۹۴۴/۰۳	۶۲۹۴۴/۰۳	۱	سطح ایستابی
۲/۰۳ ^{ns}	۶۷۵۳۴/۰۴	۲۰۲۶۰۲/۱۱	۳	شوری
۰/۰۸ ^{ns}	۲۵۵۳/۱۵	۷۶۵۹/۴۷	۳	سطح ایستابی* شوری
	۳۳۲۲۰/۴۴	۵۳۱۵۲۷/۰۹	۱۶	خطا
	۷	۷۲۵۶۹۸/۹	۲۳	کل

ns معنی دار نیست.

کشت نوع گیاه از نظر ریشه کوتاه یا ریشه بلند، لحاظ گردد. از نظر تبخیر نیز خاک‌هایی که از آب شور تغذیه می‌شوند با دریافت آب زیاد تبخیر شدیدتری داشته و میزان تبخیر تجمعی افزایش می‌یابد. از آنجا که میزان تبخیر از دو سطح ایستابی ۷۰ و ۱۰۰ سانتی‌متری با هم اختلافی معنی‌دار نداشتند، بنابراین در مدیریت آبیاری زیرزمینی شور، با مقایسه با دو سطح آب زیرزمینی این تحقیق، سطح ایستابی ۱۰۰ سانتی‌متر برای آبیاری زیرزمینی از نظر نمک صعود یافته به سطح خاک، بهتر ارزیابی شد. در انتها یادآور می‌شود که مسئله شوری خاک را می‌توان با مدیریت صحیح و بیابان مناسب املاح آب آبیاری تا حد زیادی کنترل کرد و چون تأثیر مسئله شوری بر خواص فیزیکی و شیمیایی خاک، زوایای پنهان زیادی دارد، بنابراین پیشنهاد می‌گردد که آزمایش در بافت‌های دیگر، مدت زمان بیشتر و سطوح دیگر شوری آب زیرزمینی انجام گیرد.

نتیجه گیری

نتایج این تحقیق نشان داد؛ میزان شدت صعود نمک در تیمار های با شوری پایین، بیشتر از سایر شوری‌ها است به طوری که هرچه آب زیرزمینی دارای شوری زیادتری باشد، میزان شدت صعود نمک و تجمع در سطح خاک این آزمایش در مقایسه با شوری آب زیرزمینی کمتر می‌باشد و بالعکس در آب‌های شیرین‌تر میزان آهنگ صعود نمک و تجمع آن در سطح خاک در مقایسه با میزان شوری آب مذکور شدت بیشتری دارد. بنابراین با توجه به نتایج بالا، ممکن است اراضی که آب زیرزمینی با شوری بالا آبیاری می‌شوند، شدت تجمع نمک در سطح خاک در مقایسه با شوری آب زیرزمینی کمتر از اراضی با آب زیرزمینی لب‌شور باشد و شدت تجمع نمک‌ها در اعماق پایین بیشتر باشد و اراضی که آب زیرزمینی آنها شوری کمتری دارند در مقایسه با اعماق، شدت تجمع نمک در سطح خاک بیشتر باشد. این نتایج می‌تواند در

منابع

- ۱- اسمعیل نیا، س.، لیاقت، ع.، حیدری، ن. و م.، اکرم. ۱۳۸۳. مطالعات لایسیمتری روش های مدیریت سطح ایستابی برای آبیاری گوجه فرنگی. مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی، ۶ (۲۳): ۱۲۴-۱۱۳.
- ۲- امیدی، س و ب، قهرمان. ۱۳۸۷. نگرشی مجدد در مورد تأثیر شوری بر تبخیر. مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی ۱۵ (۳): ۱۹۳-۲۰۴.
- ۳- بارگاهی، خ. و ع. موسوی. ۱۳۸۵. تأثیر سطح ایستابی کم عمق و شوری آب زیرزمینی بر کمک آب زیرزمینی به تبخیر و تعرق گلرنگ در گلخانه. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی. ۱۰ (۳ الف): ۶۹-۵۹.
- ۴- رحیمیان، م. ح.، روستا، م. ج.، مشکوه، م.، گوشه، م. و م. شیران تفتی. ۱۳۸۶. برآورد شوری نیمرخ خاک بر اثر شوری آب زیرزمینی در دشت آزادگان. مجله پژوهش‌های خاک (علوم خاک و آب). ۲۶ (۴): ۳۸۹-۳۸۱.
- ۵- قمرنیا، ه. فرمانی فرد، م. و ش. ساسانی. ۱۳۹۱. اثر سطح ایستابی کم عمق بر تأمین نیازآبی، کارایی مصرف آب و عملکرد سه رقم گندم. مجله پژوهش آب در کشاورزی، ۲۶ (۳): ۳۵۴-۳۴۰.
- 6- Ayars, J. E., Shouse, P. and S. M. Lesch,. 2009. In situ use of groundwater by alfalfa. Agricultural Water Management, 96: 1579-1586.
- 7- Droogers, P., Salemi. H.R. and A. Mamanpoush. 2000. Exploring basin scale salinity problems using Handbook no. 60, US Government Printing Office, Washington D.C.
- 8- Gardner, W. R. 1958. Some steady-state solutions of the unsaturated moisture flow equation with applications to evaporation from a water table. Soil Science. 85: 228-232.

- 9- Gowing, J. W., Konukcu, F., and D. A. Rose. 2006. Evaporative flux from a shallow water table: The influence of a vapour-liquid phase transition. *Journal of Hydrology*. 321: 77-89.
- 10- Gupta, R., Yadav, R. L. and G, Rajendra. 1993. Ground water contribution to evapotran spiration of sugarcane during summer. *Cooperative-Sugar*. 25: 113-115.
- 11- Hillel, D. 1998. *Environment to soil physics*. Academic Press. New York.
- 12- Jalili, S., Moazed, H., Boroomand Nasab, S. and A. A. Naseri. 2011. Assessment of evaporation and salt accumulation in bare soil: Constant shallow water table depth with saline ground water. *Scientific Research and Essays*. 6(29): 6068-6074.
- 13- Konukcu, F., Istanbuluoglu. A. and I. Kocaman. 2004. Simultaneous use of newly adopted simple sensors for continuous measurement of soil moisture and salinity. *Australian Journal of Soil Research*. 41: 309-321.
- 14- Luo, Y., and M. Sophocleous. 2010. Seasonal groundwater contribution to crop-water use assessed with lysimeter observations and model simulations. *Original Research Article Journal of Hydrology*, 389: 325-335.
- 15- Madramootoo, C. A., Broughton, S. and A. Papadopoulos. 1992. Water table effects on soybean yield and moisture and nitrate distribution in the soil profile. *Proceeding of 6th International Drainage Symposium, ASAE Pub.*, 501 pp.
- 16- Mostafazadeh-Fard B. and W.W. Wallender. 2006. A model study on irrigation efficiency and salinity control under shallow water table conditions. *International Journal of Agriculture and Biology*. 8(6):736-744.
- 17- Richard G., Pereira, R., Raes, D. and M, Smith. 1998. *Crop evapotranspiration guidelines for computing crop water requirements*. FAO Irrigation and Drainage. Paper No: 56. Rome, Italy.
- 18- Rose, D. A., Konukcu, F., and J. W. Gowing. 2005. Effect of water table depth on evaporation and salt accumulation above saline groundwater. *Aust. Australian Journal of Soil Research*. 43: 565-573.
- 19- Zarei, G., Homae, M. Liaghat, A. M., and A. H. Hoorafar. 2010. A model for soil surface evaporation based on Campbell's retention curve. *Journal of Hydrology*. 380: 356-361.